



REA.2.1.1.3-txt. O Espaço e o Tempo para aristotélicos e newtonianos

Este texto é baseado numa coletânea de citações de textos que visam direcionar a aplicação e dar segurança nas discussões previstas para o curso de Relatividade no Ensino Médio.

Paradigmas são conjuntos de teorias, conceitos e experimentos que norteiam o pensamento de uma comunidade de científica em determinado momento da história. Aqui procuraremos apontar alguns conceitos importantes sobre espaço e tempo nos paradigmas newtoniano e aristotélico através de trechos e perguntas selecionadas.

Acreditamos que uma boa forma de compreender as idéias relativas ao espaço-tempo da relatividade geral se dê por meio do contato com as duas principais concepções de espaço e tempo que as precederam. A idéia é criar uma ferramenta de apoio que proporcione ao professor segurança ao discutir esse assunto em sala por meio de um texto de acesso rápido, mas que proporcione uma introdução aos pensamentos aristotélicos e newtonianos sobre o que é tempo e espaço.

Não temos a pretensão de que todos os tópicos relacionados a esses assuntos sejam apresentados ou que essa visão seja vista como exclusiva. Esperamos que as informações aqui contidas possam colaborar com o professor que deseja compreender e acessar as transformações da visão de mundo no âmbito da Física.

Sugerimos aos professores a leitura do artigo ¹ A. F. P. MARTINS E J. ZANETIC, O Tempo na Mecânica: de Coadjuvante a Protagonista, Caderno Brasileiro de Ensino de Física v.19, n.2: p.149-175, ago, 2002¹.

Sobre o Espaço

Abaixo seguem algumas citações úteis que apresentam o espaço e o tempo no paradigma Aristotélico, Newtoniano e Einsteiniano. Ao final de cada citação ou afirmação, estão expostos alguns comentários que procuram direcionar o olhar do professor.

Visão Aristotélica do espaço

Aristóteles (384-322 a.C.), falando sobre a esfericidade dos céus, explicita uma das correntes filosóficas mais importantes da sua época. Essa visão de mundo influenciou fortemente o ocidente até o Renascimento agindo como um obstáculo epistemológico ao pensamento newtoniano, ou seja, uma dificuldade que as novas idéias têm em se estabelecerem devido ao modo de pensar anterior a elas. Assim optamos por essa vertente epistêmica para chegarmos ao paradigma newtoniano.

"A atividade de Deus é a vida eterna. Portanto o movimento do céu, que é um corpo divino, deve ser eterno, e por esta razão o céu deve ser uma esfera



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

rotativa. Mas o centro de um corpo rotativo está em repouso. Deve haver, pois, uma terra em repouso no centro do universo.” (Aristóteles¹)

Aristóteles define o mecanismo impulsionador do eterno motor universal, Deus, que teria por atividade a vida (movimento) eterna, mas para tanto, o movimento desta vida deveria ser cíclico e portanto circular. É natural que exista no centro de um corpo rotativo um ponto especial onde não há movimento, nesse ponto se encontra naturalmente a terra, com t minúsculo. Note que para Aristóteles o espaço age na matéria definindo um lugar natural para a terra.

A morfologia do universo proposta pelos aristotélicos é descrita por uma série de esferas transparentes e concêntricas. Cada astro como a Lua, o Sol ou Vênus estava preso a uma destas esferas. Tais esferas ao girarem levavam consigo seu respectivo astro que descrevia movimento circular em torno da Terra. Dessa forma eram explicados os movimentos que víamos aqui do centro.

A esfera mais distante, a das estrelas, seria o limite do universo e a partir dela, não haveria mais nada. Essa visão nos aponta um universo restrito, de tamanho limitado.

“(...).Ao seu redor (da Terra) circulavam, presos a esferas, a Lua, o Sol, os demais planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno visíveis a olho nu, e conhecidos desde a antigüidade) e, por último, as estrelas. Além delas não existia nada: nem espaço, nem matéria.” (Martins e Zanetic, 2002)

Mas o espaço não era como normalmente se entende, a cada região caberia estar um tipo de matéria. A estratificação que o espaço aristotélico impunha à matéria e seu movimento é bem interessante. As camadas inferiores à esfera lunar teriam seus elementos misturados devido à proximidade deste astro à esses elementos. O que, a partir do centro deveria ser terra, água, ar e fogo acaba por se misturar e é por esse motivo que podemos observá-los todos aqui juntos no nosso ambiente terrestre.

“O mundo supralunar era constituído de éter, um sólido cristalino puro, inalterável e sem peso, compatível com a eternidade, perfeição e imutabilidade dos céus.”“(...)O movimento circular de cada esfera, a partir das estrelas, era transmitido às demais, até à Lua.”

“No entanto, a região sublunar é constantemente perturbada, uma vez que o movimento mais imediato da esfera lunar (e, em última instância, das estrelas) movia a fronteira entre essa e as camadas inferiores de fogo, gerando correntes que impeliavam e misturavam os demais elementos, em proporções variadas.” (Martins e Zanetic, 2002)

¹ Aristóteles, De Cælo. Traduzido de forma livre por W. D. Ross (1957). Citado em A. F. P. MARTINS E J. ZANETIC, O Tempo na Mecânica: de Coadjuvante a Protagonista, Caderno Brasileiro de Ensino de Física v.19, n.2: p.149-175, ago, 2002.



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

A visão aristotélica abomina a idéia de espaço sem matéria (vácuo), uma vez que ao retirarmos algo de algum lugar, ele é imediatamente preenchido pela matéria que o circunda. Assim, mesmo distintos, o espaço depende da matéria para existir.

"O espaço não é, entretanto, separado da matéria que o preenche. No mundo de Aristóteles não há vácuo, e o espaço é um pleno de matéria que, por ser contínua, pode ser infinitamente dividida sem que se chegue a um limite." (Martins e Zanetic, 2002)

Nos céus o éter, na região sublunar, fogo, ar, água e terra, seqüencialmente dispostos até o centro do universo, o espaço é ativo e age diretamente sobre a matéria forçando-a em direção a seu lugar natural.

"O próprio espaço fornece o impulso que leva o fogo e as pedras para os seus lugares naturais de repouso na periferia e no centro. As interações da matéria e do espaço determinam o movimento e o repouso dos corpos." (Martins e Zanetic, 2002)

Essa visão espacial diverge muito das idéias newtonianas, aqui o espaço é finito e limitado pela esfera das estrelas fixas (esfera rotativa). Em segundo lugar, podemos observar que existe um ponto especial no espaço (no centro) a partir do qual uma espécie de estratificação espacial radial com preferências por um tipo de matéria surge e organiza a matéria. O espaço newtoniano, por sua vez, é infinito e absolutamente inerte, não age ou interage com a matéria ou energia nele contidas.

Questões orientadoras

Em que pontos a visão newtoniana diverge ou converge para esta visão de espaço?

Sugestões: lugares especiais; referencial inercial / centro do universo (lugar natural); movimentos especiais; movimento circular / movimento retilíneo).

Como vemos o espaço na visão Newtoniana? Ele é fechado como na visão aristotélica? Possui centro e "lugares" fora dele, onde não haja espaço e tempo?

Sugestões: finito / infinito

Visão Newtoniana do espaço

A visão Newtoniana do espaço foi construída pouco a pouco e por um longo período, contudo tomaremos por início a revolução copernicana. No início do séc. XVI, o sistema aristotélico já compilado e melhorado por Ptolomeu ainda era o paradigma dominante, aceito pela maioria dos cientistas da época. Sofria, entretanto, por vários fenômenos que não conseguia resolver como o movimento retrógrado dos planetas ou o fato de planetas como Vênus e Mercúrio sempre serem vistos nas proximidades do Sol.ⁱⁱ

No momento em que as navegações pelos continentes necessitavam de mais e mais informações sobre o céu e instrumentos para locomoção segura, momento em que as crescentes insatisfações científicas que o modelo aristotélico apresentava e o abalo da



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

Igreja devido à cisão através da reforma protestante, surgiu um passo definitivo para a reforma astronômica. Atribuímos a Copérnico o início da visão newtoniana de espaço quando apresentou a possibilidade de um universo com um novo centro.

*"A reforma astronômica não é, contudo, o único sentido da Revolução. Outras alterações radicais sobre o conhecimento da natureza seguiram-se à publicação de **De revolutionibus** de Copérnico, em 1543. Muitas dessas inovações, que culminaram, um século e meio depois, na concepção newtoniana de universo, foram subprodutos inesperados da teoria astronômica de Copérnico."*(Kuhn, apud Zanetic, 2007).

Apesar de muito criticado por sua publicação, Copérnico apresenta sete exigências que abriram caminho para as idéias newtonianas. Duas delas são de grande importância para nosso estudo por desconectarem o centro do Universo do centro da Terra.

*"(1) Não existe um centro único de todos os orbes celestes ou esferas.
(2) O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.
(...)"*

Essa nova visão deslocava o centro do Universo (*mundo*) para as proximidades do Sol, modificava profundamente a estrutura do espaço e do Universo. Muitos elementos aristotélicos foram mantidos nas idéias de Copérnico, mas os primeiros passos estavam dados rumo à relatividade galileana do movimento. Surgiu a possibilidade da existência de um Universo com centro no Sol, mas que mesmo assim, mantinha fiel a descrição dos fenômenos astronômicos observados aqui da Terra. Era um início de equivalência entre referenciais, observar o Sol girando ao nosso redor ou observar a nós girando em torno do Sol.

As idéias copernicanas ecoaram desencadeando uma sucessão de eventos que poriam fim à hegemonia da visão espacial aristotélica. Grandes cientistas começaram a se debruçar e articular o novo paradigma que estava por vir. Giordano Bruno (1548-1600), queimado pela inquisição por suas idéias, afirmava que o espaço era infinito:

"(...) Ele (Deus) é glorificado não em um único mas em incontáveis sóis; não em uma única Terra, mas em mil, que digo? Numa infinidade de mundos."
.(Giordano Bruno, apud Zanetic, 2007)

Johannes Kepler (1571-1630) solidificou as idéias copernicanas matematicamente rompendo com a hegemonia do círculo (forma perfeita que representava o movimento perfeito, circular, que os astros deveriam fazer, segundo os aristotélicos) ao apresentar sua primeira lei, a das elipses.

Galileu Galilei (1564-1642) foi decisivo quando olhou sucessivamente para Júpiter com sua luneta e viu a movimentação de quatro corpos celestes que o orbitavam. Mesmo com a desconfiança dos resultados que uma luneta poderia fornecer sobre o mundo celestial, Io, Ganimedes, Europa e Calisto, luas de Júpiter, acabaram por denunciar a existência de corpos orbitando outros astros que não fosse a Terra; a semente copernicana poderia germinar. Arthur Koestler escreve que



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

"O universo aristotélico era centralizado. Tinha um centro de gravidade, um núcleo sólido, ao qual se referiam todos os movimentos. Tudo quanto fosse pesado caía para o centro, tudo quanto fosse fluido como fogo e o ar, tentava afastar-se dele; os astros, nem pesados, nem fluídos, e de natureza inteiramente diversa, moviam-se em círculos, em torno dele. Os pormenores do esquema podiam ser corretos ou errados, mas o esquema era simples, plausível e tranquilizadamente ordenado.

O universo copernicano não somente se expande para o infinito, como também, ao mesmo tempo, é descentralizado, desconcertante, anárquico. Não possui centro natural de orientação a que se possa referir tudo. As direções para cima e para baixo não são mais absolutas, nem tampouco o são o peso e a fluidez. O peso de uma pedra significava antes, a sua tendência a cair para o centro da Terra: era o significado de gravidade. Agora o Sol e a Terra tornam-se centros de gravidade por conta própria. Já não há mais qualquer direção absoluta no espaço. O universo perdeu o núcleo, não tem um coração, tem milhares."(Koestler, apud Zanetic, 2007)

O paradigma espaço temporal newtoniano, dominante até o início do século XX, é o normalmente difundido pelo ensino de Física tradicional uma vez que todo o conhecimento surgido do séc. XVII até o final século XIX se encontra baseado nessa visão de espaço. As características do espaço são descritas pelo próprio Newton nos seus Princípios Matemáticos da Filosofia Natural como

"O espaço absoluto, por sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa que seja exterior, permanece sempre semelhante e imóvel." (Newton, apud Martins e Zanetic, 2002)

Uma explicação mais completa do que vem a ser o espaço newtoniano curiosamente vem de uma carta que foi um ataque de G. Berkeley², à concepção de espaço newtoniano, mas que acaba por defini-lo com grande precisão.ⁱⁱⁱ

"Imaginemos que todos os corpos tenham sido destruídos e reduzidos a nada: desse modo, daremos àquilo que resta, onde, juntamente com os corpos, fica suspensa toda relação de situação e de distância entre eles, o nome de espaço absoluto. Este espaço é, então, infinito, imóvel, indivisível e não constitui objeto algum de percepção, desde o momento em que cessou em relação a ele toda possibilidade de relação e de distinção. Todos os atributos são, dito em outras palavras, privativos ou negativos; não parece significar, portanto, mais do que o simples nada. A única dificuldade estriba em que é algo extenso e que a extensão representa, apesar de tudo, uma qualidade positiva. Porém que classe de extensão é esta que não se pode medir nem dividir e na qual não há uma só parte que se possa perceber por meio dos sentidos ou captar-se por meio da representação? Se examinarmos a fundo semelhante idéia - supondo que podemos chamá-la assim - vemos que é a mais perfeita representação do nada que podemos imaginar." (G. Berkeley, apud Porto & Porto, 2007) Grifo nosso.

² George Berkeley (1685-1753), filósofo Irlandês e ministro da Igreja Anglicana, criticou duramente a concepção de espaço newtoniana.



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

Berkeley ataca, nesta carta, a fragilidade da teoria espacial newtoniana não só por apoiar a idéia de que algo possa existir, mas não ser detectado, como também pelo fato de que segundo a filosofia newtoniana, as leis naturais são diretamente retiradas dos experimentos. Contraditoriamente, o espaço defendido por Newton, sobre o qual se alicerçava toda sua teoria, não poderia ser detectado ou experimentado.

Esses fatos e muitas outras considerações científicas modificaram pouco a pouco a noção espacial do universo. Um novo espaço sem um ponto privilegiado, onde esferas de cristais não poderiam mais girar pelas mais simples questões mecânicas, as novas explicações cada vez mais precisas sobre o funcionamento do céu, as luas de Júpiter e as diversas modificações sócio-políticas-religiosas que agitavam o cenário da época resultou num processo, que expandiu o Universo e relativizou os movimentos³.

Questões orientadoras

O que Arthur Koestler quer dizer com plausível e tranquilizadamente ordenado quando se refere ao sistema aristotélico-ptolomaico?

Sugestões: contexto da ciência / sincronia com o mundo sensível / simplicidade.

Sobre o tempo

Visão aristotélica do tempo

A concepção aristotélica de tempo é bem interessante. Para ele, o tempo é derivado da observação do movimento sendo um subproduto, um número associado ao objeto que se move. Deixaria de existir se não houvesse uma alma que o contasse restando desta forma somente o movimento sem aspecto mensurável.

"(...) como é possível existir um "antes" e um "depois" sem a existência do tempo? E como pode haver um tempo sem a existência do movimento? E então se o tempo é um número do movimento, ou é ele mesmo algum tipo de movimento, a consequência é que, se sempre houve tempo, o movimento também deve ser eterno.

(...) Assim, como o momento é ao mesmo tempo um começo e um fim, deve haver tempo dos seus dois lados, e se isto é verdade sobre o tempo, é evidente que deve ser verdade acerca do movimento, uma vez que o tempo é um tipo de efeito [affection?] do movimento" (Aristóteles, apud Henriques, 2009)^{iv} Grifo nosso.

Se para nós, no contexto científico do séc. XXI, a idéia de antes e depois é claramente ligada à passagem do tempo, o significado dessa idéia para os aristotélicos era completamente diferente, pois estava baseada nas mudanças que o movimento provocava.

³ A relatividade de Galileu com seus estudos sobre referenciais permitiu direcionar o olhar para o fato de que um fenômeno pode ocorrer e ser descrito de forma diferente dependendo do referencial que o observador adota.



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

"O tempo é, também, contínuo, pois está ocupado por um movimento contínuo. E o movimento, por sua vez, é contínuo porque se dá através de um espaço contínuo. Dessa forma, a idéia de anterior e posterior relaciona-se com o espaço, com o movimento, e em terceiro lugar, com o tempo." (Martins e Zanetic, 2002)

Assim como um contínuo de espaço preenchido por um contínuo de matéria (é sempre bom lembrar que Aristóteles não era um atomista), os aristotélicos entendiam o tempo como contínuo uma vez que o movimento se dava por corpos e ambientes com essas características.

Em relação a este (o tempo), podemos distinguir um antes e um depois, ou seja, dois agoras com um intervalo (contínuo) entre eles. Esses agoras não seriam as menores partes do tempo. Isso porque, para Aristóteles, o intervalo contínuo entre esses dois agoras pode ser (potencialmente) dividido ao infinito. E nenhum contínuo poderia ser composto de indivisíveis." (Martins e Zanetic, 2002)

O tempo é algo difícil de compreender. Mesmo hoje quando se pergunta sobre o que é o tempo para os cientistas ou quando vemos um documentário televisivo, quase sempre é utilizado o recurso da história da medição do tempo, poucos se arriscam a tentar decifrar a essência temporal, assim como a espacial. Mas uma coisa é certa, desde a Antiguidade o tempo tem papel fundamental para a compreensão do mundo, uma vez que é através dele que quantificamos os movimentos, ou será o contrário?

Questões orientadoras

Segundo Aristóteles, o tempo existiria no Universo se a Terra não existisse? Por quê?

Sugestões: o tempo como um número do movimento / influência da alma.

Você acredita que o tempo exista independentemente da matéria e energia contidas no espaço? Como seria a essência do tempo na sua concepção?

Visão Newtoniana do tempo

As idéias aristotélicas foram um grande obstáculo epistemológico para que o tempo entrasse definitivamente como essencial na a descrição do movimento.

Galileu estava imerso na revolução do pensamento ocidental. Articulava o paradigma copernicano que se estabelecia e após longo tempo procurando entender a relação entre as distâncias e a velocidade dos corpos em queda conseguiu êxito na descrição. Nos Discorsi, apresenta o experimento com a viga inclinada sobre a qual descia uma bola de bronze a diversas inclinações. Varias experiências consecutivas (mais de cem) o fizeram concluir a proporcionalidade da distância com o quadrado do tempo de queda da bola.⁴

⁴ Galilei, G., Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti Allá Meccanica Ed ai Movimenti Locali - Tradução: Mariconda, L. e Miraconda, P. R., Nova Stella, 2.ed., 1988.



Texto de Apoio: Conceitos de Espaço e Tempo

"A "temporalização" do movimento de queda insere-se, portanto, na construção de uma teoria do movimento (...). Esse momento marca de forma indelével a introdução do conceito de tempo de modo profundo na mecânica, abrindo o caminho que leva ao tempo absoluto newtoniano." (Martins e Zanetic, 2002).

Mas Martins e Zanetic nos lembram ainda que apesar da importância de Galileu, "A revolução (...) é certamente fruto de uma época, e, portanto não apenas motivada por fatores internos à ciência. Ainda que Galileu não se tenha valido de relógios mecânicos, o desenvolvimento mais propriamente tecnológico dos mesmos, próprio de sua época, alterou a visão comum e científica do tempo, o que pode ter contribuído para a temporalização do movimento de queda."⁵

À época de Newton, não só o tempo já encontrava destaque nas considerações físicas como também os fenômenos naturais eram submetidos às leis matemáticas. Newton teria feito nos Principia a primeira exposição rigorosa dos fenômenos naturais do ponto de vista matemático, contudo ele não define o que seria o tempo porque para ele isso já era do conhecimento de todos. Preocupa-se apenas com sua descrição ante o que ele chama de tempo relativo.

"Contudo, observo que o leigo não concebe essas quantidades sob outras noções exceto a partir das relações que elas guardam com os objetos perceptíveis. Daí surgem certos preconceitos, para a remoção dos quais será conveniente distingui-las entre absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e comuns.

I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.

Pode ser que não haja algo como movimento uniforme, onde o tempo possa ser rigorosamente medido. Todos os movimentos podem ser acelerados e retardados, mas o fluxo de tempo absoluto não é passível de mudanças." (Newton, apud Martins e Zanetic, 2002), grifo nosso

Newton nesse trecho procura contrastar o tempo absoluto e relativo, principalmente pelo fato de que a medida do tempo acabava sempre baseada em medidas de movimento. O tempo relativo é aquele relacionado a algum movimento, aquele representado pelo período de um pêndulo, a passagem de um astro ou oscilação de um cristal de quartzo. Esse tempo é relativo a um movimento e está suscetível às suas deformidades. O tempo absoluto, por outro lado, "passa" sempre uniformemente, se desenrola independentemente da nossa capacidade de medi-lo sempre de forma constante.

⁵ A. F. P. MARTINS E J. ZANETIC, O Tempo na Mecânica: de Coadjuvante a Protagonista, Caderno Brasileiro de Ensino de Física v.19, n.2: p.169, ago, 2002



Questões orientadoras

Quando a Física Forense faz uma previsão sobre as condições de uma colisão entre automóveis, ou quando engenheiros calculam o lançamento de uma espaçonave, o tempo newtoniano aparece como uma espécie de axioma que permite matematizar e prever os fenômenos físicos através de seu ritmo. Você acredita que exista um tempo abstrato, à parte de tudo, que flui independentemente da existência do mundo. Sim ou não, como ele seria?

Newton afirma que o fluxo do tempo absoluto não é passível de mudanças. Para você, esse fluxo constante flui em relação a quê?

Expectativas

Esperamos que este caminho que percorremos consiga uma noção sobre evolução de alguns dos conceitos mais fundamentais da Física: o onde e o quando.

Fazendo uma comparação mais livre, nos parece que a visão mais aceita para a origem dos "eternos" movimentos citados por Aristóteles é descrita pela teoria do Big Bang e as quatro Interações fundamentais: a Gravitacional, a Eletromagnética, a Interação Fraca e a Interação Forte. Menezes em seu livro *A Matéria – Uma aventura do espírito*^v afirma que hoje se acredita que em condições como às do Big Bang, as quatro Interações estariam unificadas em uma única grande força, existiria nesses primórdios do universo apenas uma única causa para o movimento.

É tentadora a associação entre o Deus de Aristóteles e a atual Teoria de forças unificadas ou mesmo uma conexão entre a visão do espaço aristotélica e a einsteiniana através da relação ativa entre espaço-tempo e matéria, principalmente para os alunos, mas deve-se ter em mente que os olhares dos aristotélicos, dos newtonianos, dos einsteinianos e da comunidade científica atual são bem diferentes e se encontram em contextos sociais, culturais, religiosos e políticos bem distintos. Qualquer comparação deve ser feita com o cuidado de não gerar conexões diretas entre visões de mundo tão distantes no tempo cronológico e tão afastadas cientificamente.

Bibliografia

ⁱ A. F. P. MARTINS e J. ZANETIC, O Tempo na Mecânica: de Coadjuvante a Protagonista, Caderno Brasileiro de Ensino de Física v.19, n.2: p.149-175, ago, 2002.

ⁱⁱ J. Zanetic, FEP 156 – Gravitação Notas de Aula 1º Parte, Instituto de Física/USP, 2007

ⁱⁱⁱ C.M. PORTO e M.B.D.S.M. PORTO, Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1603 (2008)

^{iv} Henriques, V. B., Tópicos de História da Física Clássica (tradução livre de alguns textos clássico), 2009

^v Menezes, L. Carlos de, *A Matéria - uma aventura do espírito fundamentos e fronteiras do conhecimento físico*, Editora Livraria da Física; 1ª edição, 2005